ResTek1—Løsning Øving 12

Oppgave 1

Den totale kompressibiliteten c_t er gitt ved,

$$c_t = c_o S_o + c_w S_w + c_g S_g + c_f = 10.95 \cdot 10^{-6} \text{ psi}^{-1}.$$

Fra plottet ser vi at $m = 8.1$ psi/dekade. Dette gir

$$k_o = \frac{162.6 Q_o \mu_o B_o}{mh} = \frac{162.6 \cdot 303 \cdot 0.878 \cdot 1.035}{8.1 \cdot 50} = 111 \text{ md}.$$

Skinfaktoren S er gitt ved

$$S = 1.151 \left[\frac{p_i - p_{1\mathrm{HR}}}{m} - \log \left(\frac{k}{\phi \mu c_t r_w^2} \right) + 3.23 \right].$$

Fra grafen i figur 1 ser en at $p_{1\mathrm{HR}} = 4701$ psia. Dette gir

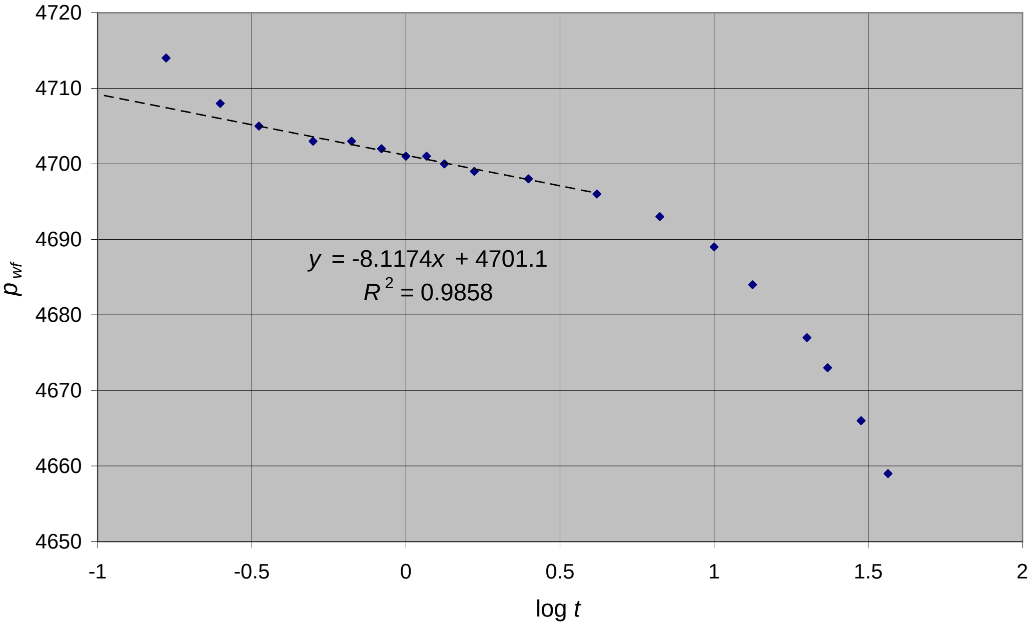
$$\begin{aligned} S &= 1.151 \left[\frac{4828 - 4701}{8.1} - \log \left(\frac{111}{0.059 \cdot 0.878 \cdot 10.95 \cdot 10^{-6} \cdot 0.25^2} \right) + 3.23 \right] \\ &= 10.8, \end{aligned}$$

altså en skadet brønn. Det kan være vanskelig å bestemme hvilken del av grafen som skal velges til å representere den analytiske løsningen krav om at trykket vil synke lineært med logaritmen til tiden. I dette tilfellet vil antagelig de to første datapunktene representere borhullseffekten: Brønnen åpnes på overflaten og det vil ta noen minutter før raten nede i brønnen ved grenseflaten mot reservoaret er blitt konstant lik den på overflaten.

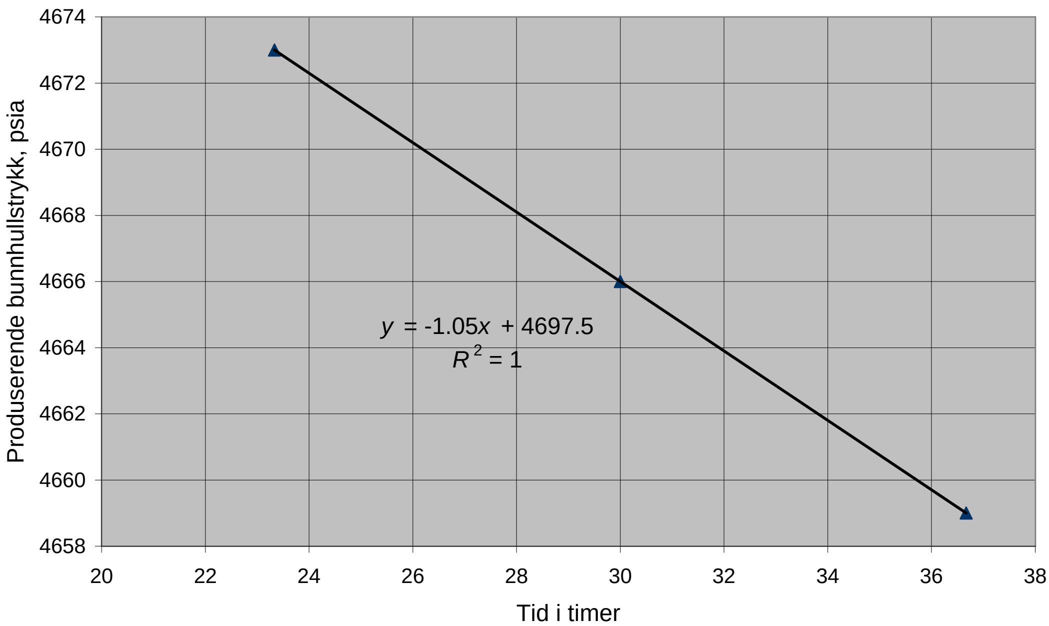
Logaritmetilnærmelsen av eksponensialintegralet vil gjelde på mindre enn et minutt,

$$\begin{aligned} t &> \frac{\phi \mu c r_w^2}{0.00105 k 0.01} \\ &= \frac{0.059 \times 0.878 \times 10.95 \times 10^{-6} \times 0.25^2}{0.00105 \times 111 \times 0.01} \times 60 \times 60 \\ &= 0.11 \text{ sekunder.} \end{aligned}$$

Etter omlag 250 minutt begynner reservoargrensene å påvirke trykkdataene og vi replotter de siste tre datapunktene i figur 2 og ser at de ligger på en rett linje (halvstasjonær periode) med et stigningsforhold på 1.05 psi/time. Porevolumet V_p (bbl) som brønnen drenerer fra er da gitt ved $V_p = 0.0418 Q_o B_o / (B_L c_t)$, hvor $B_L = 1.05$ psi/time. Dermed er $V_p = 0.0418 \cdot 303 \cdot 1.035 / (1.05 \cdot 10.95 \cdot 10^{-6})$, $V_p = 1.14 \cdot 10^6$ bbl.



Figur 1: Trykkfallstest, p_{wf} som funksjon av logaritmen til tiden i timer etter ratestart, “infinite-acting period,” oppgave 1.



Figur 2: Trykkfallstest, p_{wf} som funksjon av tiden i timer etter ratestart, halvstasjonær periode, oppgave 1

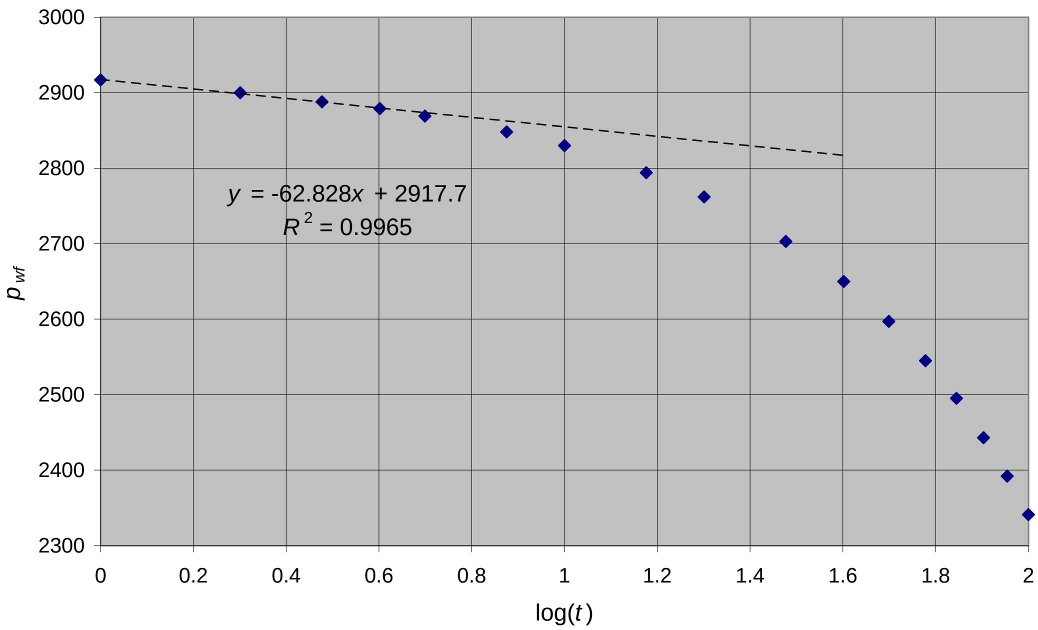
Oppgave 2

a) Fra plott i figur 3 ser en at $m = 63$ psi/dekade. Dermed blir,

$$k_o = \frac{162.6 Q_o \mu_o B_o}{mh} = \frac{162.6 \cdot 1500 \cdot 1 \cdot 1.2}{63 \cdot 20} = 232 \text{ md.}$$

Videre ser vi at $p_{wf\ \mathrm{1HR}} = 2917$; dette datapunktet ligger på den rette linjen. Dermed kan vi finne skinfaktoren,

$$\begin{aligned} S &= 1.151 \left[\frac{p_i - p_{wf\ \mathrm{1HR}}}{m} - \log \frac{k}{\phi \mu c r_w^2} + 3.23 \right] \\ &= 1.151 \left[\frac{3500 - 2917}{63} - \log \frac{232 \cdot 10^6}{0.18 \cdot 1 \cdot 15 \cdot 0.109} + 3.23 \right] \\ &= 4.1. \end{aligned}$$



Figur 3: Strømmende bunnhullstrykk som funksjon av logaritmen til produksjonstiden, oppgave 2.

b) I halvstasjonær periode gjelder følgende uttrykk for trykket p_{wf} i brønnen,

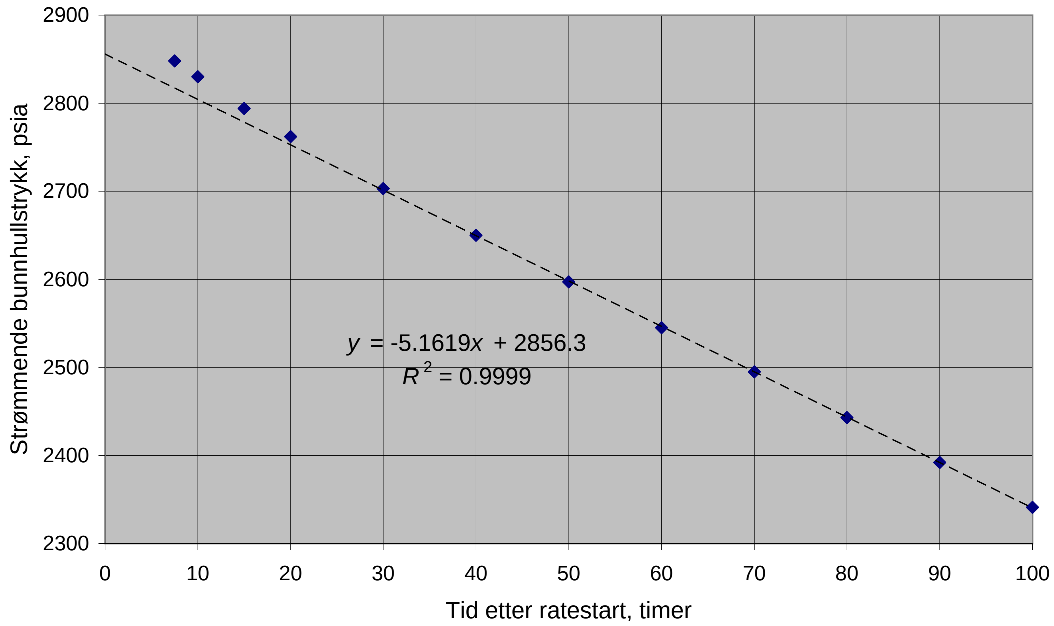
$$p_{wf} = p_i - \frac{q\mu}{2\pi kh}\left(\frac{1}{2}\ln\frac{4A}{\gamma C_A r_w^2} + 2\pi\frac{kt}{\phi\mu cA} + S\right) \quad \text{. . . . . (1)}$$

Uttrykket er i Darcy enheter, q er raten ved reservoarforhold, A er dreneringsarealet, C_A er Dietz formfaktor.

Fra ligning 1 ser vi at $dp_{wf}/dt = q/cAh\phi = q/cV_p$, hvor V_p er porevolumet av dreneringsvolumet. Dette uttrykket følger direkte av at i halvstasjonær periode er produksjonen lik ekspansjonen. Gjør vi om til praktiske enheter med psi, timer, A i ft^2, q i stb/d, så blir omregningsfaktoren 0.2339. Fra figur 4 har vi at $dp_{wf}/dt = 5.16$ psi/time. Dermed blir dreneringsarealet,

$$A = \frac{0.2339 \cdot 1500 \cdot 1.2}{15 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 0.18 \cdot 5.16 \cdot 43560} = 35 \text{ acres},$$

hvor det er brukt at $B_o = 1.2$ rb/stb og at det er 43560 ft^2 per acre. Dersom vi ekstra-



Figur 4: Trykket i brønnen som funksjon av tiden i halvstasjonær periode, oppgave 2.

polerer den rette linjen som ligning 1 representerer til $t = 0$, så får vi

$$p_i - p_0 = \frac{q\mu}{4\pi kh}\left(\ln\frac{4A}{\gamma C_A r_w^2} + 2S\right),$$

hvor $p_0 = p_{wf}(t = 0)$. Omgjort til praktiske enheter får vi

$$p_i - p_0 = m\left(\log\frac{4A}{\gamma r_w^2} - \log C_A + 0.87S\right).$$

Med $p_0 = 2856$ psia fra plottet i figur 4, finner vi av dette at

$$\begin{aligned}
\log C_A &= -\frac{p_i - p_0}{m} + \log\frac{4A}{\gamma r_w^2} + 0.87S \\
&= -\frac{3500 - 2856}{63} + \log\frac{4 \cdot 35 \cdot 43560}{1.781 \cdot 0.33^2} + 0.87 \cdot 4.1 \\
&= 0.8423 \\
C_A &= 6.96,
\end{aligned}$$

som gir en brønnplassering mellom første og andre tilfellet i figur 1 i oppgaveteksten.

Oppgave 3

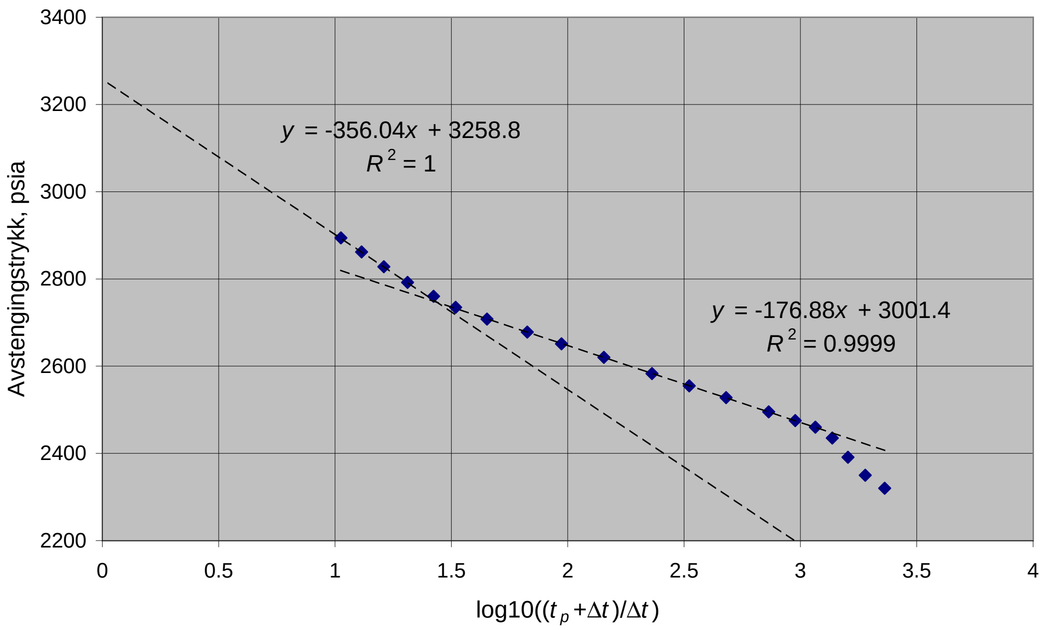
Den totale kompressibilitet c_t er gitt ved

$$\begin{aligned}
c_t &= S_o c_o + S_g c_g + S_w c_w + c_f \\
&= (0.61 \cdot 10.2 + 0.01 \cdot 424.2 + 0.38 \cdot 0.35 + 4.3) \cdot 10^{-6}\ \text{psi}^{-1} \\
&= 16.1 \cdot 10^{-6}\ \text{psi}^{-1}.
\end{aligned}$$

Permeabiliteten kan finnes ved å bruke den første rette linjen, figur5, med stigningsforhold på 177 psi/dekade. Denne gjelder tidlig, før reservoargrensen reflekteres i trykkdataene, og vi kan tolke dataene på vanlig måte som for en trykkoppbyggingstest,

$$\begin{aligned}
k_o &= \frac{162.6 Q_o \mu_o B_o}{mh} \\
&= \frac{162.6 \cdot 65 \cdot 0.23 \cdot 1.33}{177 \cdot 27} \\
&= 0.68\ \text{md.}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S &= 1.151\left[\frac{p_{1\text{HR}} - p_{wf,s}}{m} - \log\frac{k}{\phi\mu_o c_t r_w^2} + 3.23\right] \\
&= 1.151\left[\frac{2350 - 1475}{177} - log\frac{0.68 \cdot 10^6}{0.13 \cdot 0.23 \cdot 16.1 \cdot 0.33^2} + 3.23\right] \\
&= 1.28,\ \text{altså skadet brønn.}
\end{aligned}$$



Figur 5: Trykkoppbyggingsplott; avstengingstrykket i psia som funksjon av $(t_p + \Delta t)/\Delta t$, oppgave 3.

Her er $p_{1\text{HR}}$ er trykket etter en times avstenging, fra den rette linjen. Vi ser at den andre rette linjen har omlag dobbelt så stor stigningskoeffisient. Dette tyder på at diskontinuiteten er en forseglende forkastning, i.e., en tett forkastning.

Trykkløsningen for dette problemet kan vi finne ved å plassere en speilbrønn i avstanden $2d$ fra brønnen, som er plassert i avstanden d fra forkastningen. Trykkløsningen for problemet finner en ved å foreta en fiktiv trykkoppbyggingstest av speilbrønnen samtidig med trykkoppbyggingstesten i den virkelige brønnen, i praktiske enheter,

$$\begin{aligned} p_{ws} &= p_i - \frac{162.6 Q_o \mu_o B_o}{k_o h} \log \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} \\ &\quad + \frac{70.6 Q_o \mu_o B_o}{k_o h} \left[\mathrm{ei} \left(\frac{\phi \mu_o c_t (2d)^2}{0.00105 k_o (t_p + \Delta t)} \right) - \mathrm{ei} \left(\frac{\phi \mu_o c_t (2d)^2}{0.00105 k_o \Delta t} \right) \right]. \end{aligned}$$

Vi ser av plottet at den første rette linjen ekstrapolerer til omlag 3001.4 psi og den andre rette linjen vil ekstrapolere til 3258.8 psi. Differansen, 257.4 psi, må skyldes den første ei-funksjonen i den fullstendige trykkløsningen oppgitt i oppgaven, når $\Delta t << t_p$. Altså kan vi sette

$$\frac{1}{141.2} \frac{kh}{Q\mu B} \Delta p = \frac{1}{2} \mathrm{ei} \left(\frac{\phi \mu c d^2}{0.000264 k t_p} \right).$$

Brukes nå logaritmetilnærmelsen på ei-funksjonen, så får vi

$$d = \sqrt{\frac{0.000264 k t_p}{\gamma \phi \mu c \mathrm{e}^{0.0142 kh \Delta p/(Q\mu B)}}},$$

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{0.000264 \times 0.68 \times 4973.54}{1.781 \times 0.13 \times 0.23 \times 16.1 \times 10^{-6} \mathrm{e}^{0.0142 \times 0.68 \times 27 \times 257.4/(65 \times 0.23 \times 1.33)}}} \\ &= 189\,\text{ft}. \end{aligned}$$

Oppgave 4

a) De viktigste betingelsene for at den klassiske linjekildeløsningen skal være gyldig er: vertikal brønn perforert over hele høyden; konstant høyde av reservoaret; konstante reservoaregenskaper; liten og konstant kompressibilitet; konstant viskositet, rate, porøsitet etc.; uendelig reservoar; uniformt trykk initielt.

b) Vi bruker at

$$t_D = 0.000264 \frac{kt}{\phi \mu c d^2}$$

og setter inn $k = 500$md, $t = 24$timer, $\phi = 0.25$, $\mu = 1.0$cp, $c = 17 \times 10^{-6}$psi^{-1}, $d = 500$ft og finner at $t_D = 2.98$, slik at $x = 0.08$, altså større enn 0.01.

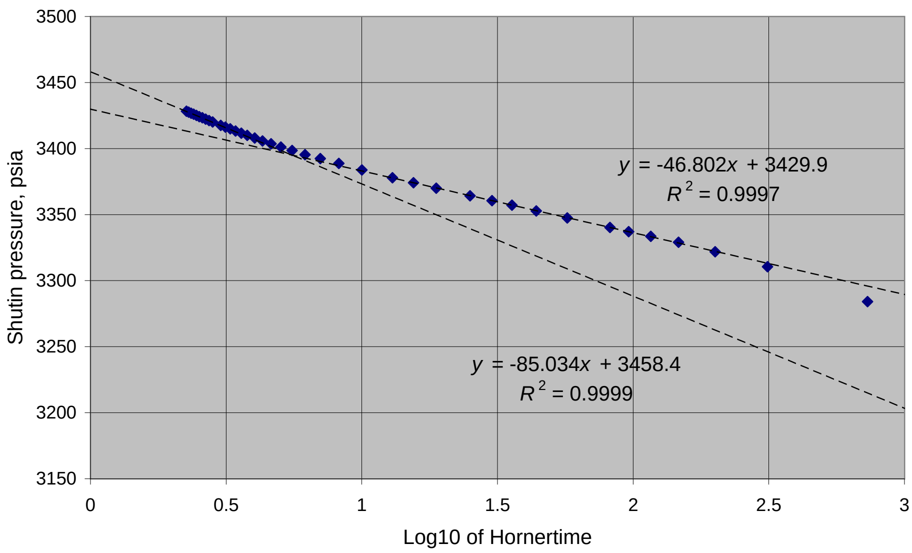
c) Den oppgitte ligning følger direkte av å bruke superposisjon av rater sammen med speilbrønn. Kan ikke bruke logaritmetilnærmelsen på speilbrønnleddene men har brukt den på leddene fra den virkelige brønnen.

d) Når Δt er liten og $<< t_p$, så er første ei-funksjon en konstant og andre ei-funksjon er neglisjerbar. Når Δt blir stor, så kan begge ei-funksjonene tilnærmes med logaritmen og det tidsavhengige leddet, det som inneholder Δt, øker til det dobbelte.

e) Produksjonstiden t_p finnes av $t_p = N_p/q \times 24 = 5320/3500 \times 24 = 36.5$ timer.

Horner-plottet er vist i figur 6. Det framgår to rette linjer med stigningsforhold på 45 psi/dekade og 90 psi/dekade. Det gir

$$k = 162.6\frac{q\mu_o B_o}{m_1 h} = \frac{162.6 \times 3500 \times 1.0 \times 1.30}{45 \times 25} = 658\text{mD}.$$



Figur 6: Hornerplott av trykkdataene

f) Det er flere måter å anslå dette på: (1) vi kan bruke logaritmetilnærmelsen på ei-funksjonene rundt skjæringspunktet mellom de to rette linjene; (2) vi kan bruke hele løsningen med de to ei-funksjonene og tilpasse trykkløsningen rundt skjæringspunktet ved å bruke oppgitt plott av eksponentialintegralet, eller vi kan gjøre det på følgende måte:

Vi ser av plottet at den første rette linjen ekstrapolerer til omlag 3430 psi og den andre rette linjen vil ekstrapolere til 3460 psi, initielt trykk, siden reservoaret kan betraktes som uendelig. Differanse, 30 psi, må skyldes den første ei-funksjonen i den fullstendige trykkløsningen oppgitt i oppgaven, når $\Delta t << t_p$. Altså kan vi sette

$$\frac{1}{141.2}\frac{kh}{Q\mu B}\Delta p = \frac{1}{2}\mathrm{ei}\left(\frac{\phi\mu c d^2}{0.000264k(t_p + \Delta t)}\right).$$

Brukes nå logaritmetilnærmelsen på ei-funksjonen, så får vi

$$d = \sqrt{\frac{0.000264 k t_p}{\gamma\phi\mu c \mathrm{e}^{0.0142 kh\Delta p/(q\mu B)}}},$$

$$d = \sqrt{\frac{0.000264 \times 658 \times 36.5}{1.781 \times 0.25 \times 1.0 \times 17 \times 10^{-6}\mathrm{e}^{0.0142\times 16440\times 30/(33500\times 1.0\times 1.3)}}} = 424\,\mathrm{ft}.$$